



三种稻田常见螯蜂对半翅目害虫的 寄主偏好性及控害作用

何雨婷^{1,2}, 何佳春², 魏 琪², 赖凤香², 杨中侠¹, 傅 强^{1,2,*}

(1. 湖南农业大学, 植物病虫害生物学与防控湖南省重点实验室, 长沙 410128;

2. 中国水稻研究所, 水稻生物学国家重点实验室, 杭州 310006)

摘要:【目的】探明两色食虱螯蜂 *Echthrodelpax fairchildii*、黄腿双距螯蜂 *Gonatopus flavifemur* 和稻虱红单节螯蜂 *Haplogonatopus apicalis* 3 种稻田常见螯蜂对半翅目害虫的寄主偏好性及控害作用。【方法】在非选择条件下, 分别以褐飞虱 *Nilaparvata lugens*、白背飞虱 *Sogatella furcifera*、灰飞虱 *Laodelphax striatellus*、黑尾叶蝉 *Nephotettix cincticeps* 和伪褐飞虱 *Nilaparvata muii* 为寄主, 观察两色食虱螯蜂、黄腿双距螯蜂和稻虱红单节螯蜂的取食、寄生以及子代生长发育情况; 并在选择条件下观察 3 种螯蜂对稻飞虱的寄主选择性, 评价螯蜂的寄主偏好性。根据以上试验, 评出 3 种螯蜂各自的适宜寄主; 并选择适宜寄主测定 3 种螯蜂的寿命、取食量和寄生量, 评价其控害作用。【结果】两色食虱螯蜂可取食和寄生褐飞虱、灰飞虱、白背飞虱和伪褐飞虱, 以前 3 种为两色食虱螯蜂的适宜寄主, 伪褐飞虱次之; 黑尾叶蝉为其非取食、寄生寄主。黄腿双距螯蜂可取食和寄生 4 种飞虱: 褐飞虱和灰飞虱适合性较高, 白背飞虱次之, 伪褐飞虱最差。黑尾叶蝉可为黄腿双距螯蜂的取食寄主, 但非寄生寄主。稻虱红单节螯蜂以白背飞虱为最适寄主, 灰飞虱次之; 其他 3 种寄主仅能被稻虱红单节螯蜂取食, 不能被成功寄生。在适宜寄主上, 稻虱红单节螯蜂雌虫的寿命、总取食和寄生合计量均最高, 两色食虱螯蜂的最低, 黄腿双距螯蜂的居中; 3 种螯蜂日均取食量和寄生量的消长动态波动幅度不大。【结论】两色食虱螯蜂偏好寄生褐飞虱、灰飞虱和白背飞虱, 控害作用相对最弱; 黄腿双距螯蜂偏好寄生褐飞虱和灰飞虱, 控害作用居中; 稻虱红单节螯蜂偏好寄生白背飞虱, 控害作用最强。

关键词: 两色食虱螯蜂; 黄腿双距螯蜂; 稻虱红单节螯蜂; 半翅目害虫; 寄主选择性; 成虫寿命; 取食寄主; 寄生

中图分类号: Q968 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2020)08-0999-11

Host preferences and control effects of three common rice field dryinids on hemipteran pests

HE Yu-Ting^{1,2}, HE Jia-Chun², WEI Qi², LAI Feng-Xiang², YANG Zhong-Xia¹, FU Qiang^{1,2,*}

(1. Hunan Provincial Key Laboratory for Biology and Control of Plant Diseases and Insect Pests, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. State Key Laboratory of Rice Biology, China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China)

Abstract: 【Aim】 This study aims at exploring the host preferences and control effects of three common rice field dryinids (*Echthrodelpax fairchildii*, *Gonatopus flavifemur* and *Haplogonatopus apicalis*) on

基金项目: 国家水稻产业技术体系(CARS-01-35); 国家重点研发计划项目(2016YFD0200801); 中国农业科学院科技创新工程“水稻有害生物防控技术”创新团队; 农业农村部西南作物有害生物综合治理重点实验室开放基金项目(2018-XNZD-02)

作者简介: 何雨婷, 女, 1994 年 3 月生, 湖南郴州人, 硕士研究生, 研究方向为生物防治, E-mail: 935581699@qq.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: fuqiang@caas.cn

收稿日期 Received: 2019-12-30; 接受日期 Accepted: 2020-03-25

hemipteran pests. 【Methods】 Under the non-choice conditions, *Nilaparvata lugens*, *Sogatella furcifera*, *Laodelphax striatellus*, *Nephotettix cincticeps* and *Nilaparvata muiri* were used as hosts for the three dryinids, *E. fairchildii*, *G. flavifemur* and *H. apicalis*, to observe their host-feeding, parasitism activities and offspring development. And the selectivity of the three dryinids on planthoppers was also observed under the choice conditions. On the basis of above tests, the suitable host for each of the three dryinids was evaluated. The suitable hosts were used to study the longevity, host-feeding and parasitism activities for evaluating the control effects of these three dryinids. 【Results】 *E. fairchildii* could feed on and parasitize *N. lugens*, *L. striatellus*, *S. furcifera* and *N. muiri*, and the first three planthoppers were more suitable hosts than *N. muiri*, while *N. cincticeps* could not be fed upon or parasitized by *E. fairchildii*. *G. flavifemur* could feed on and parasitize four species of planthoppers: *N. lugens* and *L. striatellus* were highly adaptable hosts for *G. flavifemur* followed by *S. furcifera* and then *N. muiri*. *N. cincticeps* could be fed upon but not parasitized by *G. flavifemur*. For *H. apicalis*, *S. furcifera* was the most suitable host followed by *L. striatellus*, while the other three hosts could only be fed on but not parasitized by *H. apicalis* successfully. On the suitable hosts, *H. apicalis* females had the longest longevity and the highest total numbers of planthoppers fed upon and parasitized, then *G. flavifemur*, and finally *E. fairchildii*, and there was a slight fluctuation in the diurnal variations of host-feeding and parasitism amounts of the three dryinids. 【Conclusion】 *E. fairchildii* prefers to parasitize *N. lugens*, *L. striatellus* and *S. furcifera*, but its control effect is the lowest. *G. flavifemur* prefers to parasitize *N. lugens* and *L. striatellus*, and it has a medium control effect. *H. apicalis* prefers to parasitize *S. furcifera* with the best control effect.

Key words: *Echthrodelpfax fairchildii*; *Gonatopus flavifemur*; *Haplogonatopus apicalis*; hemipteran pests; host selectivity; adult longevity; host feeding; parasitism

螳螂属于膜翅目 (Hymenoptera) 螳螂科 (Dryinidae), 是稻田半翅目害虫稻飞虱、稻叶蝉若虫和成虫的重要天敌, 其雌蜂具有寄生和取食寄主的双重习性 (Kitamura, 1986; Guglielmino, 2002; Ito and Yamada, 2006; Dupo and Barrion, 2009; Gurr *et al.*, 2011)。雌蜂取食时用螳肢钳住寄主, 上颚咬破寄主体壁, 吮吸寄主体液或组织 (胡淑恒等, 1987)。寄主被取食后, 寄主体表可见被咬破的伤口 (Kitamura, 1982; Chua *et al.*, 1984)。寄主的伤口症状根据取食程度可分为撕裂型和点状型, 而寄主出现撕裂型和点状型伤口的死亡率分别为 100% 和 86.8%, 且被取食过的寄主再被寄生的概率极低, 仅占 0.9% (Kitamura, 1982)。雌蜂寄生时则用螳肢、上颚钳住寄主, 腹部弯曲用产卵器在寄主体上来回刺探, 并产卵 (Yamada and Ikawa, 2003)。寄主被寄生后, 仍能正常取食和蜕皮 (Yamada and Imai, 2000; Ito and Yamada, 2014, 2016), 甚至可以迁飞 (何俊华和许再福, 2002), 但其发育历期会明显地延长且通常不能繁殖 (Kitamura, 1988; 李帅等, 2015)。雄蜂一般不取食或只取食寄主蜜露, 不寄生, 仅参与交配 (Guglielmino, 2002)。

我国稻田螳螂的种类较丰富, 据文献报道至少有 16 种, 其中两色食虱螳螂 *Echthrodelpfax fairchildii*、黄腿双距螳螂 *Gonatopus flavifemur* 和稻虱红单节螳螂 *Haplogonatopus apicalis* 等较为常见 (杨绍龙等, 1982; 林冠伦等, 1986; 许再福等, 1999; 何俊华和许再福, 2002; Dupo and Barrion, 2009; Xu *et al.*, 2013; Olmi and Xu, 2015)。田间螳螂的寄生率为 0.8% ~ 53%, 有时高达 72.7% (夏温澍, 1962; Kitamura, 1987; Koyama *et al.*, 1989; 王惠长等, 1995)。

研究和掌握螳螂对寄主害虫的寄生、取食习性及其控害作用, 是利用螳螂防治害虫的关键。迄今相关研究主要集中于稻虱红单节螳螂、黄腿双距螳螂等少数几种, 且研究常不够深入和系统。例如, 螳螂寄主种类的研究多限于田间调查或能否寄生或寄生后子代能否发育成蜂等方面的观察 (黄信飞, 1982; 温州农科所生物防治课题组, 1986; Kitamura, 1989; 张纯胃和金莉芬, 1992), 很少从产卵后其子代的发育速度和繁殖力方面进行研究。关于螳螂寄主选择性的结论常不一致, 例如: 有报道指出稻虱红单节螳螂偏好寄生白背飞虱 *Sogatella furcifera*, 不喜

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (杨绍龙等, 1982; 张纯胄和金莉芬, 1992), 但王惠长等 (1995) 发现该蜂对白背飞虱、褐飞虱的田间寄生率十分接近, 分别为 18.9% 和 16.1%。

为此, 本研究拟进一步以两色食虱螫蜂、黄腿双距螫蜂、稻虱红单节螫蜂等 3 种我国稻田常见螫蜂为研究对象, 就其对稻飞虱等稻田及周边常见半翅目害虫的寄生、取食习性进行系统的观察, 评价 3 种螫蜂的寄主偏好性, 并进一步观察其对适宜寄主的取食和寄生情况, 评价其控害作用。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

供试螫蜂为稻田常见的两色食虱螫蜂 *E. fairchildii*、黄腿双距螫蜂 *G. flavifemur* 和稻虱红单节螫蜂 *H. apicalis*, 均采自浙江富阳 (30.05°N, 119.95°E), 其中前两种螫蜂用褐飞虱进行饲养, 稻虱红单节螫蜂则用白背飞虱进行饲养。

供试寄主有褐飞虱 *N. lugens*、白背飞虱 *S. furcifera*、灰飞虱 *Laodelphax striatellus* 和黑尾叶蝉 *Nephotettix cincticeps* 等稻田常见害虫以及稻田周边杂草上常见的褐飞虱近似种——伪褐飞虱 *Nilaparvata muii* 5 种半翅目害虫, 均采自浙江富阳, 其中伪褐飞虱用游草 *Leersia hexandra* 进行饲养, 其余寄主用水稻感虫品种 TN1 稻苗进行饲养。

在温度 $27 \pm 1^\circ\text{C}$ 、RH 75% $\pm$ 5%、光周期 14L:10D 的恒温恒湿培养室中开展试验。

1.2 非选择条件下螫蜂取食与寄生表现测定

参照 Kitamura (1982) 试验方法, 分别取褐飞虱、白背飞虱、灰飞虱、伪褐飞虱和黑尾叶蝉的 3 龄若虫, 按 30 头/笼接入种植有稻苗 (用于前 3 种飞虱和黑尾叶蝉) 或游草 (用于伪褐飞虱) 的饲养笼 (笼罩直径 7.5 cm、高 24 cm), 再接 1 头当日羽化已交配的雌蜂, 24 h 后取出蜂。观察记录每笼寄主的活虫数和死虫数, 对死虫进行镜检后, 确认其被取食 (寄主体表可见被咬破的伤口) 或自然死亡 (寄主体表无伤口) 数量, 计算取食数 (接虫数 - 活虫数 - 自然死亡数); 之后活虫继续饲养至出现可见幼虫囊, 观察和记录被寄生数 (有幼虫囊的飞虱数), 计算取食率、寄生率; 待子代老龄蜂幼离囊而出结茧及后续羽化时, 分别记录结茧和羽化的时间、数量以及羽化的性别, 计算结茧率、羽化率、雌性比以及各阶段的发育历期等参数。每处理重复不少于 10 次。

1.3 选择条件下螫蜂取食与寄生表现测定

参照 Espinosa 等 (2019) 试验方法, 3 种稻飞虱 (褐飞虱、白背飞虱和灰飞虱) 3 龄若虫两两组合, 每个观察笼 (同 1.2 节) 接入飞虱 30 头 (每种飞虱各 15 头) 后, 再接 1 头当日羽化已交配的雌蜂, 24 h 后取出蜂, 观察记录螫蜂对每种飞虱的取食量和寄生量 (方法同 1.2 节)。每处理重复不少于 8 次。

1.4 螫蜂成虫的取食和寄生潜力测定

在前述研究的基础上, 每种螫蜂选择其适宜寄主进行观察。参照 Kitamura (1986) 试验方法, 每个饲养笼 (同 1.2 节) 配当日羽化 1 雌 2 雄蜂, 接入 20 头 3 龄寄主若虫, 24 h 后, 将螫蜂转移到含有同样寄主的新饲养笼中, 如此每 24 h 更换一次, 直至雌蜂死亡; 期间若雄蜂死亡, 则补充新的雄蜂。统计螫蜂成蜂的寿命; 参照 1.2 节方法观察和记录取食数和寄生数, 统计成虫期各日龄的取食量和寄生量, 并分析其日均消长动态。每处理至少重复 10 次。

1.5 数据分析

采用 Tang 和 Zhang (2013) 的 DPS 数据处理系统进行统计分析, 除取食选择偏好性和寄生选择偏好性采用卡方检验法进行检验外, 其余均采用单因素方差分析和 Tukey 氏多重比较法, 其中百分数类数据方差分析时进行反正弦平方根转换。

2 结果

2.1 非选择条件下螫蜂取食与寄生的表现

2.1.1 螫蜂对不同寄主的取食和寄生情况 (图 1 和 2): 两色食虱螫蜂可取食和寄生 4 种飞虱, 不取食也不寄生黑尾叶蝉。该蜂对褐飞虱、白背飞虱、灰飞虱、伪褐飞虱和黑尾叶蝉的取食率分别为 16.7%, 15.5%, 15.7%, 14.2% 和 0.0%, 对 4 种飞虱的取食率无显著差异 ($P > 0.05$), 但均显著高于对黑尾叶蝉的取食率 ($P < 0.05$); 寄生率依次为 46.3%, 33.0%, 42.2%, 40.0% 和 0.0%, 对不同飞虱的寄生率间无显著差异 ($P > 0.05$), 亦均显著高于对黑尾叶蝉的寄生率 ($P < 0.05$)。

黄腿双距螫蜂可取食全部 5 种害虫, 寄生 4 种飞虱。该蜂对褐飞虱、白背飞虱、灰飞虱、伪褐飞虱和黑尾叶蝉的取食率依次为 19.7%, 19.2%, 14.2%, 20.5% 和 12.7%, 其中仅对伪褐飞虱与黑尾叶蝉的取食率有显著差异 ($P < 0.05$); 寄生率依次为 52.3%, 24.9%, 39.7%, 24.1% 和 0.0%, 其中对褐飞虱的寄生率显著高于对白背飞虱和伪褐飞虱的

寄生率,对黑尾叶蝉的寄生率显著低于对其余 4 种害虫的寄生率($P < 0.05$)。

稻虱红单节螯蜂可取食全部 5 种害虫,对褐飞虱、白背飞虱、灰飞虱、伪褐飞虱和黑尾叶蝉的取食率分别为 16.7%, 22.7%, 19.3%, 15.3% 和 12.3%,其中对白背飞虱和灰飞虱的取食率显著高于对黑尾叶蝉的取食率($P < 0.05$)。该蜂仅能寄生白背飞虱和灰飞虱,且对二者的寄生率差异显著($P < 0.05$),对白背飞虱的寄生率(48.7%)较对灰

飞虱的寄生率(5.7%)高 43.0%;对褐飞虱、伪褐飞虱和黑尾叶蝉的寄生率均为 0.0%。

进一步分析螯蜂的寄生习性发现,不同寄主上 3 种螯蜂均以单寄生为主($> 81\%$),但也见聚寄生发生,聚寄生的比例因螯蜂及寄主种类而异(图 3)。两色食虱螯蜂的聚寄生仅见 2 头幼虫,在褐飞虱、白背飞虱、灰飞虱和伪褐飞虱上的聚寄生比例分别为 9.5%, 0.0%, 6.1% 和 4.6%,仅在褐飞虱与白背飞虱上的聚寄生比例有显著差异($P < 0.05$)。黄腿

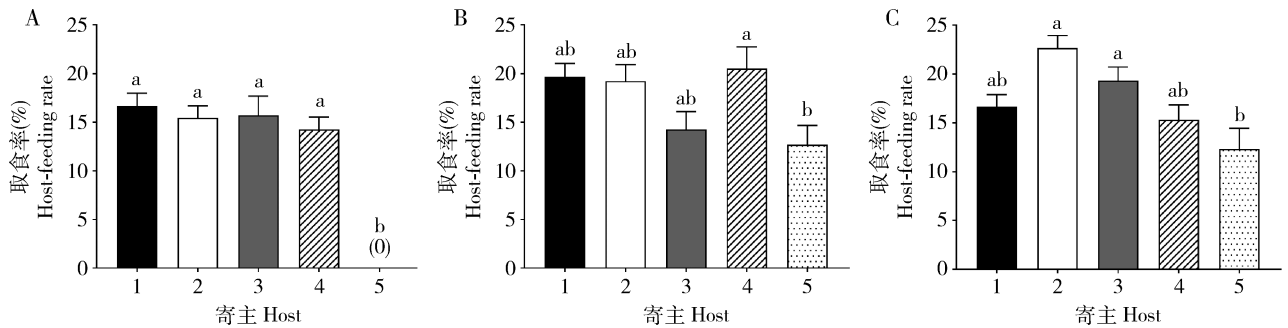


图 1 3 种螯蜂对 5 种半翅目昆虫的取食率

Fig. 1 Host-feeding rates of three dryinids on five hemipteran insects

A: 两色食虱螯蜂 *Echthrodelfax fairchildi*; B: 黄腿双距螯蜂 *Gonatopus flavifemur*; C: 稻虱红单节螯蜂 *Haplogonatopus apicalis*. 1: 褐飞虱 *Nilaparvata lugens*; 2: 白背飞虱 *Sogatella furcifera*; 3: 灰飞虱 *Laodelphax striatellus*; 4: 伪褐飞虱 *Nilaparvata muiri*; 5: 黑尾叶蝉 *Nephotettix cincticeps*. 图中数据为平均值 $\pm$ 标准误,柱上不同字母者表示经 Tukey 氏检验差异显著($P < 0.05$);图 2 和 3 同。Data in the figure were shown as mean $\pm$ SE. Different letters above bars indicate significant difference at the 0.05 level by Tukey's test. The same for Figs. 2 and 3.

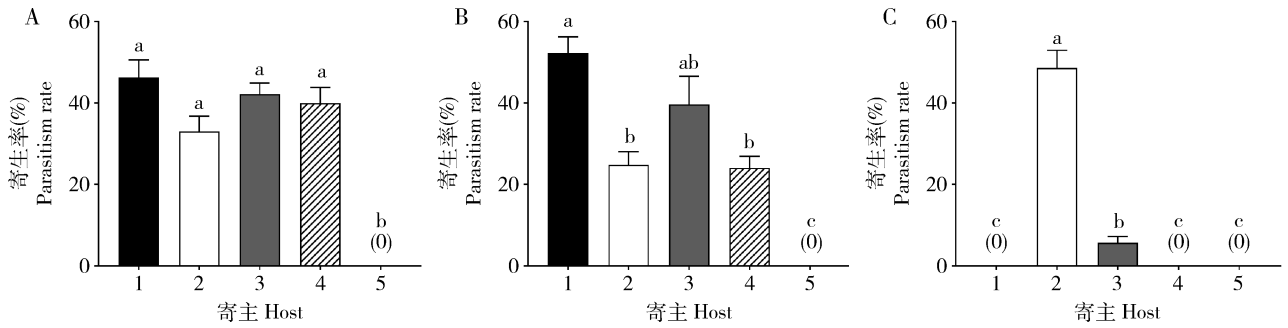


图 2 3 种螯蜂对 5 种半翅目昆虫的寄生率

Fig. 2 Parasitism rates of three dryinids on five hemipteran insects

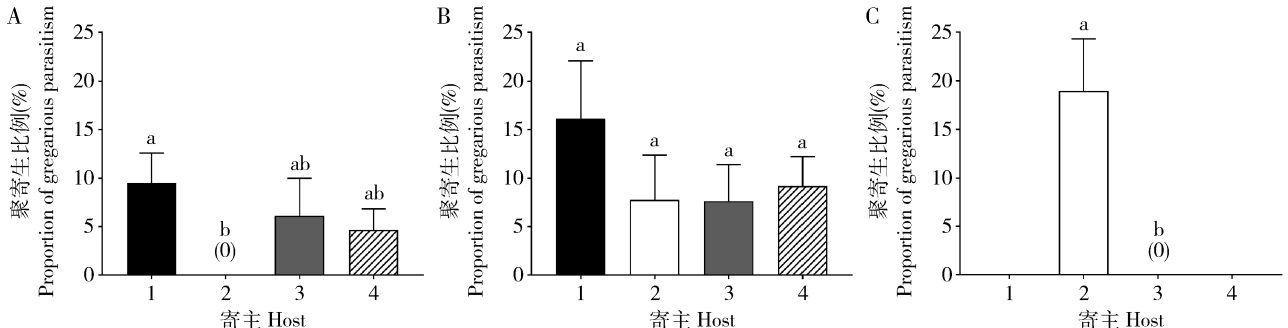


图 3 不同寄主上 3 种螯蜂的聚寄生比例

Fig. 3 Proportions of gregarious parasitism of three dryinids on different hosts

双距螯蜂聚寄生时有 2 头或 3 头幼虫,不同寄主上的聚寄生比例介于 7.6% ~ 16.1% 之间,寄主间无显著差异($P>0.05$)。稻虱红单节螯蜂寄生白背飞虱时聚寄生比例为 19.0%,有 2 头或 3 头幼虫聚寄生;寄生灰飞虱时未见聚寄生。

2.1.2 不同寄主上螯蜂子代结茧率、羽化率、雌蜂数和雌性比(表 1):在可寄生的 4 种寄主上,两色食虱螯蜂的子代结茧率、羽化率无显著差异($P>0.05$),但子代雌蜂数、雌性比有显著差异($P<0.05$)。其中,该蜂寄生褐飞虱、白背飞虱、灰飞虱和伪褐飞虱时的子代雌蜂数分别为 3.2, 2.5, 2.4 和 1.0 头,仅寄生褐飞虱与伪褐飞虱时的子代雌蜂数差异显著($P<0.05$);子代雌性比依次为 34.2%, 31.2%, 29.6% 和 11.3%,仅寄生褐飞虱与白背飞虱时的子代雌性比显著高于寄生伪褐飞虱时的子代

雌性比($P<0.05$)。

黄腿双距螯蜂在 4 种可寄生的寄主上,其子代羽化率、雌性比无显著差异($P>0.05$),但子代结茧率、雌蜂数有显著差异($P<0.05$)。其中,该蜂在褐飞虱、白背飞虱、灰飞虱和伪褐飞虱上的子代结茧率分别为 78.7%, 85.9%, 83.3% 和 54.2%,在前 3 种飞虱上的子代结茧率与在伪褐飞虱上的有显著差异($P<0.05$);子代雌蜂数依次为 2.5, 0.8, 1.8 和 0.5 头,在褐飞虱上的子代雌蜂数显著高于在白背飞虱和伪褐飞虱上的子代雌蜂数($P<0.05$)。

稻虱红单节螯蜂在 2 种可寄生的寄主上,寄生白背飞虱时的子代结茧率、羽化率、雌蜂数均显著高于寄生灰飞虱时($P<0.05$),二者间仅雌性比差异不显著($P>0.05$)。

表 1 不同寄主上 3 种螯蜂子代的结茧率、羽化率、雌蜂数和雌性比
Table 1 Cocooning rates, emergence rates, numbers of females and proportions of females of offsprings of three dryinids on different hosts

螯蜂种类 Dryinid species	指标 Index	寄主种类 Host species			
		褐飞虱 <i>Nilaparvata lugens</i>	白背飞虱 <i>Sogatella furcifera</i>	灰飞虱 <i>Laodelphax striatellus</i>	伪褐飞虱 <i>Nilaparvata muii</i>
两色食虱螯蜂 <i>Echthrodelpfax fairchildii</i>	结茧率 Cocooning rate (%)	79.3 ± 3.3 a	84.3 ± 4.0 a	72.7 ± 5.2 a	78.4 ± 4.8 a
	羽化率 Emergence rate (%)	78.3 ± 2.8 a	87.0 ± 3.6 a	86.5 ± 3.5 a	90.9 ± 2.5 a
	雌蜂数 Number of females	3.2 ± 0.4 a	2.5 ± 0.5 ab	2.4 ± 0.5 ab	1.0 ± 0.2 b
	雌性比 Proportion of females (%)	34.2 ± 3.4 a	31.2 ± 4.7 a	29.6 ± 6.4 ab	11.3 ± 2.8 b
黄腿双距螯蜂 <i>Gonatopus flavifemur</i>	结茧率 Cocooning rate (%)	78.7 ± 2.8 a	85.9 ± 4.3 a	83.3 ± 4.4 a	54.2 ± 6.2 b
	羽化率 Emergence rate (%)	90.7 ± 3.7 a	84.1 ± 7.6 a	86.5 ± 3.3 a	76.9 ± 6.2 a
	雌蜂数 Number of females	2.5 ± 0.7 a	0.8 ± 0.2 b	1.8 ± 0.5 ab	0.5 ± 0.3 b
	雌性比 Proportion of females (%)	17.1 ± 3.6 a	10.1 ± 2.7 a	27.8 ± 8.7 a	13.1 ± 8.3 a
稻虱红单节螯蜂 <i>Haplogonatopus apicalis</i>	结茧率 Cocooning rate (%)	/	81.8 ± 5.0 a	37.1 ± 14.8 b	/
	羽化率 Emergence rate (%)	/	84.3 ± 2.6 a	31.3 ± 23.7 b	/
	雌蜂数 Number of females	/	3.2 ± 0.5 a	0.5 ± 0.5 b	/
	雌性比 Proportion of females (%)	/	28.5 ± 4.9 a	25.0 ± 25.0 a	/

表中数据为平均值 ± 标准误,同一行数据后不同字母者表示经 Tukey 氏检验具显著差异($P<0.05$);表 2 和 3 同。Data in the table were shown as mean ± SE. Different letters following the data in a row indicate significant difference at the 0.05 level by Tukey’s test. The same for Tables 2 and 3. /: 该寄主上螯蜂无子代而未能进行观察 Dryinid on the host has no offspring, so failing to observe.

2.1.3 不同寄主上螯蜂子代各阶段的发育历期(表 2):两色食虱螯蜂在不同寄主上的卵-幼虫期(产卵至老龄幼虫离囊结茧)无显著差异($P>0.05$),为 7 ~ 8 d;但蛹期(老龄幼虫结茧至羽化)和卵-幼虫-蛹期(产卵至羽化合计持续时间)有显著差异($P<0.05$)。其中该蜂在褐飞虱和灰飞虱上的蛹期显著长于在白背飞虱和伪褐飞虱上的蛹期($P<0.05$);在褐飞虱上的卵-幼虫-蛹期与在其余 3 种飞虱上的差异显著($P<0.05$),在灰飞虱上的卵-幼虫-蛹期还与在白背飞虱和伪褐飞虱上的有显著差异

($P<0.05$)。

黄腿双距螯蜂在不同寄主上各发育阶段均有显著差异($P<0.05$)。其中,在伪褐飞虱上的卵-幼虫期最长,且与在其余 3 种飞虱上的卵-幼虫期差异显著($P<0.05$);蛹期则不同,在褐飞虱上的蛹期最长,与在其余 3 种飞虱上的蛹期差异显著($P<0.05$);在褐飞虱和伪褐飞虱上卵-幼虫-蛹期与在灰飞虱上的有显著差异($P<0.05$)。

稻虱红单节螯蜂在白背飞虱和灰飞虱上各阶段的发育历期均无显著差异($P>0.05$)。

表 2 不同寄主上 3 种螯蜂卵-幼虫、蛹、卵-幼虫-蛹的发育历期
Table 2 Developmental duration of egg-larva, pupa, and egg-larva-pupa of three dryinids on different hosts

螯蜂种类 Dryinid species	发育历期 (d) Developmental duration	寄主种类 Host species			
		褐飞虱 <i>Nilaparvata lugens</i>	白背飞虱 <i>Sogatella furcifera</i>	灰飞虱 <i>Laodelphax striatellus</i>	伪褐飞虱 <i>Nilaparvata muii</i>
两色食虱螯蜂 <i>Echthrodelpfax fairchildii</i>	卵-幼虫 Egg-larva	7.8 ± 0.1 a	7.7 ± 0.1 a	7.6 ± 0.1 a	7.7 ± 0.1 a
	蛹 Pupa	13.5 ± 0.1 a	12.3 ± 0.1 b	13.0 ± 0.1 a	12.0 ± 0.1 b
	卵-幼虫-蛹 Egg-larva-pupa	21.3 ± 0.1 a	20.0 ± 0.1 c	20.6 ± 0.1 b	19.7 ± 0.2 c
黄腿双距螯蜂 <i>Gonatopus flavifemur</i>	卵-幼虫 Egg-larva	9.9 ± 0.1 b	9.9 ± 0.1 b	9.7 ± 0.1 b	11.1 ± 0.3 a
	蛹 Pupa	12.6 ± 0.1 a	11.7 ± 0.2 b	11.4 ± 0.1 b	11.0 ± 0.2 b
	卵-幼虫-蛹 Egg-larva-pupa	22.6 ± 0.1 a	21.6 ± 0.2 ab	21.0 ± 0.1 b	22.2 ± 0.5 a
稻虱红单节螯蜂 <i>Haplogonatopus apicalis</i>	卵-幼虫 Egg-larva	/	12.5 ± 0.4 a	12.8 ± 0.1 a	/
	蛹 Pupa	/	9.6 ± 0.3 a	9.5 ± 0.0 a	/
	卵-幼虫-蛹 Egg-larva-pupa	/	21.6 ± 0.3 a	22.0 ± 0.0 a	/

2.2 选择条件下螯蜂取食与寄生的表现

在 3 种稻飞虱 (褐飞虱、白背飞虱和灰飞虱) 若虫两两等量共存的条件 下,两色食虱螯蜂无明显的取食偏好性 ($P > 0.05$); 寄生偏好性则不同, 尽管当褐飞虱与白背飞虱或白背飞虱与灰飞虱共存时无寄生偏好性 ($P > 0.05$), 但褐飞虱和灰飞虱共存时明

显偏好寄生灰飞虱 ($P > 0.05$)。黄腿双距螯蜂则仅当褐飞虱与灰飞虱共存时无明显取食、寄生偏好性 ($P > 0.05$); 当褐飞虱或灰飞虱与白背飞虱共存时, 取食明显偏好白背飞虱, 寄生明显偏好褐飞虱或灰飞虱 ($P > 0.05$) (图 4)。

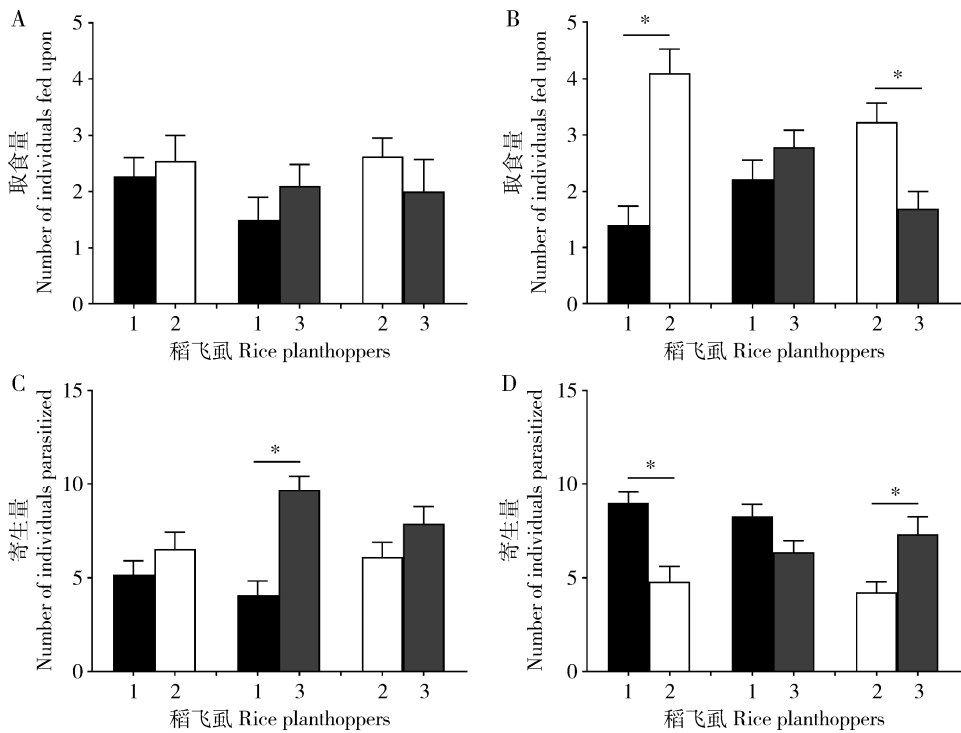


图 4 两色食虱螯蜂和黄腿双距螯蜂对稻飞虱的取食和寄生选择性

Fig. 4 Host-feeding and parasitism selectivity of *Echthrodelpfax fairchildii* and *Gonatopus flavifemur* to rice planthoppers
A, C: 两色食虱螯蜂 *E. fairchildii*; B, D: 黄腿双距螯蜂 *G. flavifemur*. 1: 褐飞虱 *Nilaparvata lugens*; 2: 白背飞虱 *Sogatella furcifera*; 3: 灰飞虱 *Laodelphax striatellus*. 图中数据为平均值 ± 标准误, 柱上星号表示经卡方检验差异显著 ($P < 0.05$)。Data are mean ± SE. Asterisk above bars indicates significant difference at the 0.05 level by *Chi-square* test.

2.3 在适宜寄主上螯蜂成虫取食和寄生飞虱的潜力
根据上文结果, 本节选定褐飞虱为两色食虱螯

蜂和黄腿双距螯蜂的适宜寄主、白背飞虱为稻虱红单节螯蜂的适宜寄主进行试验, 结果表明, 3 种螯蜂

成虫的寿命因性别和种类而异(表3)。雌蜂寿命长于雄蜂,同一性别中,雄蜂以两色食虱螯蜂最高,显著高于黄腿双距螯蜂和稻虱红单节螯蜂($P < 0.05$),后两者间无显著差异($P > 0.05$);雌蜂则以稻虱红单节螯蜂最高,两色食虱螯蜂最低,二者间差异显著($P < 0.05$),黄腿双距螯蜂居中,与前两者间无显著差异($P > 0.05$)。

雌蜂对飞虱的总取食量、总寄生量和二者合计量因螯蜂种类而有显著差异(表3)。其中总取食量,稻虱红单节螯蜂与两色食虱螯蜂、黄腿双距螯蜂均差异显著($P < 0.05$),后两者间差异不显著($P > 0.05$)。总寄生量和总取食与寄生合计量,稻虱红单节螯蜂显著高于两色食虱螯蜂($P < 0.05$);黄腿双距螯蜂居中,且与稻虱红单节螯蜂和两色食虱螯蜂均无显著差异($P > 0.05$)。

3 种螯蜂雌虫的日均取食量与总取食量相似,

稻虱红单节螯蜂最高,两色食虱螯蜂最低,且二者间差异显著($P < 0.05$),居中的黄腿双距螯蜂与二者均无显著差异($P > 0.05$)。日均寄生量以及日均取食与寄生合计量不同于总寄生量和总取食与寄生合计量,均以黄腿双距螯蜂最高,两色食虱螯蜂居中,稻虱红单节螯蜂最低,后两者均显著低于黄腿双距螯蜂($P < 0.05$);且后二者间日均寄生量有显著差异($P < 0.05$),而日均取食与寄生合计量无显著差异($P > 0.05$)。

进一步分析3种螯蜂对飞虱取食量和寄生量的日消长动态(图5)发现:雌蜂羽化当天即开始取食与寄生,之后除死亡当天日平均取食量和寄生量相对较低之外,成虫存活期间的波动均较为平缓。值得一提的是,同一种螯蜂的取食量与寄生量似表现为负相关,取食量高时寄生量一般较低,反之亦然。

表 3 在适宜寄主上 3 种螯蜂成虫寿命及其取食和寄生的飞虱数
Table 3 Adult longevity of three dryinids and the numbers of planthoppers fed upon and parasitized by them on the suitable hosts

		两色食虱螯蜂 <i>Echthrodelpfax fairchildii</i>	黄腿双距螯蜂 <i>Gonatopus flavifemur</i>	稻虱红单节螯蜂 <i>Haplogonatopus apicalis</i>
雄蜂 Male adult	观测样本数 Number of observed samples	84	62	77
	寿命 Longevity (d)	3.5 ± 0.2 a	2.7 ± 0.2 b	2.4 ± 0.1 b
雌蜂 Female adult	观测样本数 Number of observed samples	14	13	10
	寿命 Longevity (d)	10.1 ± 1.2 b	14.3 ± 1.8 ab	21.6 ± 3.5 a
单雌成虫期取食或寄生飞虱数 Number of planthoppers fed upon or parasitized by individual female in adult stage	取食 Feeding	43.2 ± 6.6 b	70.3 ± 9.5 b	126.6 ± 20.6 a
	寄生 Parasitism	111.5 ± 15.2 b	177.0 ± 20.8 ab	195.2 ± 33.2 a
	合计 Total	154.7 ± 21.6 b	247.3 ± 29.8 ab	321.8 ± 52.7 a
单雌每天取食或寄生飞虱数 Number of planthoppers fed upon or parasitized by individual female per day	取食 Feeding	4.1 ± 0.2 b	4.9 ± 0.2 ab	5.5 ± 0.5 a
	寄生 Parasitism	10.8 ± 0.4 b	12.6 ± 0.3 a	9.1 ± 0.3 c
	合计 Total	14.9 ± 0.5 b	17.4 ± 0.2 a	14.6 ± 0.3 b

两色食虱螯蜂和黄腿双距螯蜂的适宜寄主为褐飞虱,稻虱红单节螯蜂的适宜寄主为白背飞虱;图5同。The suitable host of *E. fairchildi* and *G. flavifemur* is *Nilaparvata lugens*, while the suitable host of *H. apicalis* is *Sogatella furcifera*. The same for Fig. 5.

3 结论与讨论

3.1 稻田 3 种常见螯蜂的寄主偏好性

以往稻田螯蜂寄主偏好性的研究多见于对少数种类的取食和寄生习性的报道,少有关于子代发育情况的研究。本研究以褐飞虱、白背飞虱、灰飞虱和黑尾叶蝉等稻田常见半翅目害虫以及周边杂草上常见的伪褐飞虱为对象,通过对螯蜂的取食和寄生习性以及子代生长发育特性的观察,就3种稻田常见

螯蜂的寄主偏好性进行了系统的评价。

两色食虱螯蜂在非选择条件下可取食和寄生稻飞虱(褐飞虱、白背飞虱和灰飞虱)和伪褐飞虱,但不取食和寄生黑尾叶蝉。其对不同飞虱的取食率、寄生率、子代结茧率和羽化率等无明显差异;而子代发育历期、雌性比和雌蜂数等均有显著差异,且不同飞虱寄主上各具优势。其中,该蜂寄生3种稻飞虱时的子代雌蜂数远高于寄生伪褐飞虱时(图1和2;表1和2),鉴于该指标体现种群发展趋势,可以认为褐飞虱、白背飞虱和灰飞虱这3种稻飞虱对两色

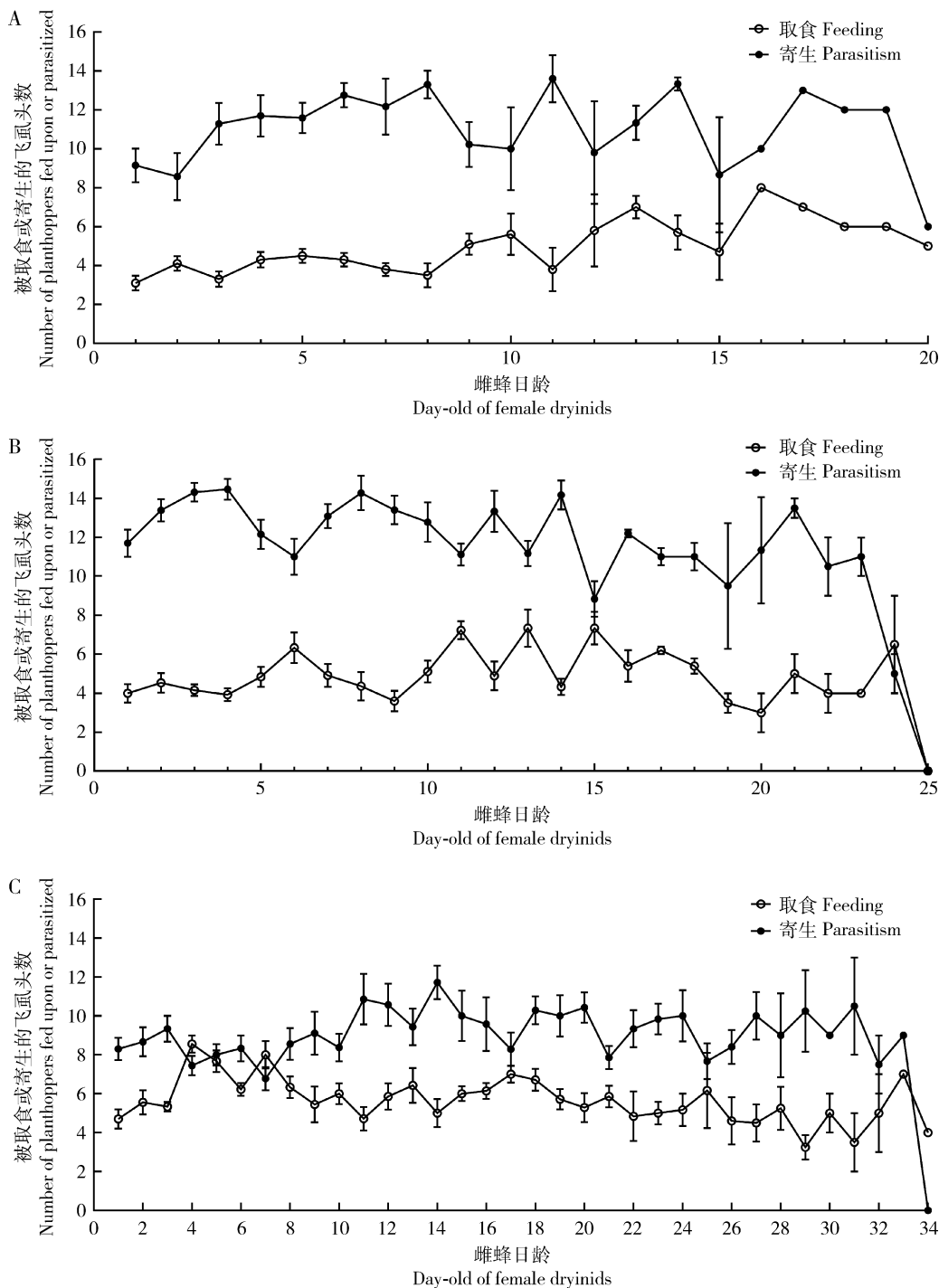


图5 在适宜寄主上3种螳蜂对寄主飞虱取食量和寄生量的日消长动态

Fig. 5 Diurnal variations of host-feeding and parasitism amounts of three dryinids on planthoppers

A: 两色食虱螳蜂 *Echthrodelpax fairchildii*; B: 黄腿双距螳蜂 *Gonatopus flavifemur*; C: 稻虱红单节螳蜂 *Haplogonatopus apicalis*. 图中数据为平均值 $\pm$ 标准误。Data in the figure are mean $\pm$ SE.

食虱螳蜂的寄主适合性好于伪褐飞虱;而这3种稻飞虱间总体上差异不大,均为两色食虱螳蜂的适宜寄主。就3种稻飞虱寄主而言,该蜂除蛹期和卵-幼虫-蛹期有显著差异外,其他指标均无显著差异。在选择条件下,除褐飞虱与灰飞虱共存时寄生偏好灰

飞虱之外,该蜂对3种稻飞虱的取食和寄生均无明显偏好性(图4)。这是对两色食虱螳蜂寄主偏好性的首例报道。

黄腿双距螳蜂在非选择条件下可取食全部5种寄主,但对黑尾叶蝉的取食率显著低于对其余4种

飞虱的取食率,对 4 种飞虱的取食率间无著差异;该蜂不能寄生黑尾叶蝉,可寄生 4 种飞虱,对 4 种飞虱的寄生率、子代结茧率、雌蜂数、发育历期均有显著差异(图 1 和 2; 表 1 和 2)。总体上,褐飞虱和灰飞虱对黄腿双距螯蜂的适合性较高,白背飞虱次之,伪褐飞虱最差。可选择条件下,该蜂对褐飞虱和灰飞虱无明显取食、寄生选择性,但褐飞虱或灰飞虱与白背飞虱共存时,寄生偏好褐飞虱或灰飞虱,而取食则偏好白背飞虱(图 4)。以往对该蜂寄主种类的相关研究见于黄信飞(1982)、Chua 和 Dyck(1982)等的报道。黄信飞(1982)认为,该蜂可寄生褐飞虱、白背飞虱和灰飞虱,并能育出成蜂,且该蜂偏好褐飞虱产卵;Chua 和 Dyck(1982)发现该蜂偏好褐飞虱而非白背飞虱和黑尾叶蝉,本研究的结果与其一致。

稻虱红单节螯蜂可取食全部 5 种寄主,对白背飞虱的取食率最高,显著高于对伪褐飞虱和黑尾叶蝉的取食率,与对灰飞虱和褐飞虱的取食率无显著差异(图 1)。该蜂仅能寄生白背飞虱和灰飞虱,白背飞虱最适。试验中曾观察到该蜂可以在褐飞虱、伪褐飞虱上产卵,但卵不能正常发育至囊状物阶段,对黑尾叶蝉则未观察到产卵行为。以往对该蜂的相关研究多于前两种螯蜂,多数报道与本研究结果一致,如:稻虱红单节螯蜂可取食白背飞虱、褐飞虱(胡淑恒等,1987),对白背飞虱的取食量大于褐飞虱(王惠长等,1995);可产卵于白背飞虱和灰飞虱,并能正常发育至成虫,且两种寄主上的发育历期无明显差异(Kitamura,1989);喜寄生白背飞虱(杨绍龙等,1982;张纯胄和金莉芬,1992),产卵于褐飞虱时不能正常发育(Kitamura,1989;张纯胄和金莉芬,1992)。然而,本研究与部分前人结果有所不同,如:胡淑恒等(1987)报道稻虱红单节螯蜂不能取食叶蝉,该研究未明确叶蝉的种类,所观察的叶蝉种类可能非本研究所观察的黑尾叶蝉;张纯胄和金莉芬(1992)报道该蜂产卵于灰飞虱却不能发育成囊,鉴于本研究中该蜂对灰飞虱的寄生率(有囊包飞虱比例)仅 5.7%,若样本数不够大,观察不到成囊个体的可能性较高。

一般来说,可用作取食的寄主种类范围常宽于用作产卵的种类范围(Heimpel and Collier,1996),本研究发现,黄腿双距螯蜂和稻虱红单节螯蜂的取食范围均大于寄生范围。螯蜂取食不能寄生的寄主,可减少可对寄生寄主的取食,进而有利于其利用寄生寄主更好繁衍后代。此外,本研究发现,黄腿双距螯蜂取食偏好白背飞虱,寄生偏好褐飞虱和灰飞

虱,而寄生褐飞虱和灰飞虱的螯蜂所能繁育的子代雌蜂数多于白背飞虱,同样有利于黄腿双距螯蜂的繁育(表 1; 图 4)。

3.2 稻田 3 种常见螯蜂的控害作用

螯蜂仅雌成虫可取食和寄生寄主害虫,其控害作用取决于雌成虫的取食作用和寄生作用两个方面(史树森等,2009)。以往的相关研究多集中在寄生方面。本研究明确 3 种螯蜂对飞虱的控害作用有明显差异,其中,在各自的适宜寄主上,稻虱红单节螯蜂雌虫寿命最长,控害作用最强;两色食虱螯蜂寿命最短,控害作用最弱;黄腿双距螯蜂的寿命居中,控害作用亦居中(表 3)。本研究还发现 3 种螯蜂的日均取食量和寄生量的消长动态波动幅度不大(图 5),表明其控害作用受雌蜂日龄的影响较小,这与 Mora-Kepfer 和 Espinoza(2009)及 Espinosa 等(2019)结果一致。试验中还观察到,螯蜂取食寄主时,一般咀嚼吮吸猎物组织和体液直至猎物干瘪才终止,且不取食已死亡猎物,说明螯蜂偏食活猎物,该特性有利于螯蜂对害虫的控制。

螯蜂对寄主害虫的控制作用除与螯蜂种类有关之外,还受到寄主种类、寄主龄期或虫态以及寄主密度等多种因素的影响。其中寄主种类的影响取决于螯蜂的寄主偏好性,不再赘述。寄主龄期或虫态的影响也因螯蜂种类而异,如:稻虱单节红螯蜂的最适寄主龄期是 2 和 3 龄若虫(李帅等,2015),对白背飞虱 2 龄若虫的寄生率高达 43.0%,而对 5 龄若虫的寄生率只有 5.7%(胡淑恒等,1987);黄腿双距螯蜂对褐飞虱 4 龄若虫的寄生率较高,对 1 龄若虫和雄成虫则明显较低(何佳春等,2015;何雨婷等,2019);双距螯蜂 *Gonatopus bonaerensis* 取食和寄生均偏好于 1-3 龄若虫(Espinosa et al.,2019)。寄主虫口密度的影响体现为特定的功能反应特征,如:稻虱红单节螯蜂对不同密度褐飞虱和白背飞虱的捕食功能反应属 Holling-II 型(王惠长等,1995);黄腿双距螯蜂对不同密度 3 龄褐飞虱的寄生功能反应属 Holling-III 型(Chua and Dyck,1982;Chua et al.,1984)。因此,螯蜂控害作用的评价应考虑上述各种因素的综合影响。

参考文献 (References)

Biocontrol Research Group, Wenzhou Institute of Agricultural Sciences, 1986. A preliminary observation of *Haplogonatopus japonicus*. Wenzhou Agric. Sci. Technol., (2): 9-11. [温州农科所生物防治课题组, 1986. 稻虱红螯蜂的初步观察. 温州农业科技,

(2): 9–11]

- Chua TH, Dyck VA, 1982. Assessment of *Pseudogonatopus flavifemur* E. & H. (Dryinidae: Hymenoptera) as a biocontrol agent against the rice brown planthopper. In: Heong KL, Lee BS, Lim TM, Teoh CH, Ibrahim Y eds. Proceedings of the International Conference on Plant Protection in the Tropics. Malaysian Plant Protection Society, Kuala Lumpur, Malaysia. 253–265.
- Chua TH, Dyck VA, Pena NB, 1984. Functional response and searching efficiency in *Pseudogonatopus flavifemur* Esaki and Hash. (Hymenoptera: Dryinidae), a parasite of rice planthoppers. *Res. Popul. Ecol.*, 26(1): 74–83.
- Dupo ALB, Barrion AT, 2009. Taxonomy and general biology of delphacid planthoppers in rice agroecosystems. In: Heong KL, Hardy B eds. Planthoppers: New Threats to the Sustainability of Intensive Rice Production Systems in Asia. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. 13–165.
- Espinosa MS, Van Nieuwenhove GA, Virla EG, 2019. Host makes the difference: the effect of two planthopper host species on host-feeding and parasitism activities of the pincer wasp *Gonatopus bonaerensis*. *BioControl*, 64(6): 655–664.
- Guglielmino A, 2002. Dryinidae (Hymenoptera Chrysidoidea): an interesting group among the natural enemies of the Auchenorrhyncha (Hemiptera). *Denisia* 04, 176: 549–556.
- Gurr GM, Liu J, Read DMY, Catindig JLA, Cheng JA, Lan LP, Heong KL, 2011. Parasitoids of Asian rice planthopper (Hemiptera: Delphacidae) pests and prospects for enhancing biological control by ecological engineering. *Ann. Appl. Biol.*, 158(2): 149–176.
- Heimpel GE, Collier TR, 1996. The evolution of host-feeding behaviour in insect parasitoids. *Biol. Rev.*, 71(3): 373–400.
- He JC, Sun YQ, Lin JJ, Li B, Fu Q, 2015. Predation and parasitism selectivity of the parasitoid *Gonatopus flavifemu* Esaki and Hashimoto to two species of rice planthoppers. In: Chen WQ ed. Green Prevention for Controlling Diseases and Pests and Quality and Safety of Agricultural Products. China Agricultural Science and Technology Press, Beijing. 632. [何佳春, 孙燕群, 林晶晶, 李波, 傅强, 2015. 黄腿双距螯蜂对两种飞虱的捕食选择性及寄生选择性. 见: 陈万权 主编. 病虫害绿色防控与农产品质量安全. 北京: 中国农业科学技术出版社. 632]
- He JH, Xu ZF, 2002. Fauna Sinica, Insecta, Vol. 29. Hymenoptera, Dryinidae. Science Press, Beijing. 464 pp. [何俊华, 许再福, 2002. 中国动物志, 昆虫纲, 第29卷. 膜翅目, 螯蜂科. 北京: 科学出版社. 464 页]
- He YT, Sun LH, Du H, He JC, Fu Q, 2019. Host-feeding and parasitism behavior of two common dryinid species for *Nilaparvata lugens*. In: Chen WQ ed. Plant Protection and Poverty Alleviation. China Agricultural Science and Technology Press, Beijing. 204. [何雨婷, 孙利华, 杜贺, 何佳春, 傅强, 2019. 两种稻田常见螯蜂对褐飞虱的捕食和寄生习性. 见: 陈万权 主编. 植物保护与脱贫攻坚. 北京: 中国农业科学技术出版社. 204]
- Hu SH, Xiao TG, Chen CM, 1987. Studies on *Haplogonatopus japonicus* Esaki et Hashimoto (Hym., Dryinidae). *J. Hunan Agric. Coll.*, (1): 49–58. [胡淑恒, 肖铁光, 陈常铭, 1987. 稻虱红螯蜂的研究. 湖南农学院学报, (1): 49–58]
- Huang XF, 1982. Preliminary observations on *Pseudogonatopus flavifemur* Esaki & Hashimoto, a natural enemy of *Nilaparvata lugens* Stål. *Entomol. Knowl.*, 19(5): 12–15. [黄信飞, 1982. 褐稻虱的天敌——黄腿螯蜂的初步观察. 昆虫知识, 19(5): 12–15]
- Ito E, Yamada YY, 2006. Seemingly maladaptive refraining from infanticidal probing at the third parasitism attack by the semi-solitary parasitoid *Echthrodelpfax fairchildii* (Hymenoptera: Dryinidae). *Insect Sci.*, 13(3): 229–233.
- Ito E, Yamada YY, 2014. Self-/conspecific discrimination and superparasitism strategy in the ovidical parasitoid *Echthrodelpfax fairchildii* (Hymenoptera: Dryinidae). *Insect Sci.*, 21(6): 741–749.
- Ito E, Yamada YY, 2016. Presence of a conspecific increases superparasitism but not infanticide under self- and conspecific superparasitism in a semisolitary parasitoid, *Echthrodelpfax fairchildii* (Hymenoptera: Dryinidae). *Entomol. Sci.*, 19(1): 25–33.
- Kitamura K, 1982. Comparative studies on the biology of dryinid wasps in Japan. 1. Preliminary report on the predacious and parasitic efficiency of *Haplogonatopus atratus* Esaki et Hashimoto (Hymenoptera: Dryinidae). *Bull. Fac. Agr. Shimane Univ.*, 16: 172–176.
- Kitamura K, 1986. Comparative studies on the biology of dryinid wasps in Japan. 4. Longevity, oviposition and host-feeding of adult female of *Haplogonatopus atratus* Esaki et Hashimoto (Hymenoptera: Dryinidae). *Bull. Fac. Agr. Shimane Univ.*, 20: 191–195.
- Kitamura K, 1987. Seasonal changes in percentage parasitism of the parasitoids of leaf- and planthoppers in Shimane Pref. (Homoptera: Auchenorrhyncha). *Bull. Fac. Agr. Shimane Univ.*, 21: 155–170.
- Kitamura K, 1988. Comparative studies on the biology of dryinid wasps in Japan. 5. Development and reproductive capacity of hosts attacked by *Haplogonatopus apicalis* (Hymenoptera, Dryinidae) and the development of progenies of the parasites in their hosts. *Kontyu*, 56(3): 659–666.
- Kitamura K, 1989. Comparative studies on the biology of dryinid wasps in Japan. 9. Development of *Haplogonatopus apicalis* (Hymenoptera: Dryinidae). *Bull. Fac. Agr. Shimane Univ.*, 23: 55–59.
- Koyama K, Abe Y, Yagi S, Mitsuhashi J, 1989. Rearing of adults of the dryinid wasp (*Haplogonatopus atratus* Esaki et Hashimoto) on an artificial diet. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.*, 33(3): 151–152.
- Li S, Chen WL, Jin DC, 2015. Influence of parasitism at different host stages on the developmental performance of both the parasitoid *Haplogonatopus apicalis* (Hymenoptera: Dryinidae) and its host *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae). *Acta Entomol. Sin.*, 58(11): 1237–1244. [李帅, 陈文龙, 金道超, 2015. 稻虱红单节螯蜂寄生不同虫龄白背飞虱对二者发育表现的影响. 昆虫学报, 58(11): 1237–1244]
- Lin GL, Liu F, Hu JS, 1986. The occurrence of the dryinids in rice

fields in Jiangsu province. *J. Jiangsu Agric. Coll.*, 7(4): 47 – 50. [林冠伦, 刘峰, 胡建生, 1986. 稻虱螫蜂在江苏的发生. 江苏农学院学报, 7(4): 47 – 50]

Mora-Kepfer F, Espinoza AM, 2009. Parasitism and predation of the planthopper *Tagosodes orizicolus* (Homoptera: Delphacidae) by a dryinid parasitoid in Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 57(S1): 203 – 211.

Olmi M, Xu ZF, 2015. Dryinidae of the Eastern Palaearctic region (Hymenoptera: Chrysidoidea). *Zootaxa*, 3996(1): 1 – 253.

Shi SS, Zang LS, Liu TX, Ruan CC, Sun GZ, 2009. Host-feeding behaviors of parasitoids on hosts and implications for biological control. *Acta Entomol. Sin.*, 52(4): 424 – 433. [史树森, 臧连生, 刘同先, 阮长春, 孙光芝, 2009. 寄生蜂取食寄主特性及其在害虫生物防治中的作用. 昆虫学报, 52(4): 424 – 433]

Shiah WS, 1962. A preliminary study on *Delphacodes striatella* Fallén in the vicinity of Wuchang. *Acta Entomol. Sin.*, 11(2): 105 – 117. [夏温澍, 1962. 武昌灰稻虱的初步研究. 昆虫学报, 11(2): 105 – 117]

Tang QY, Zhang CX, 2013. Data Processing System (DPS) software with experimental design, statistical analysis and data mining developed for use in entomological research. *Insect Sci.*, 20(2): 254 – 260.

Wang HC, Chen MG, Peng HZ, 1995. Parasitism and predation of *Haplogonatopus japonicus*. *Till. Cultivat.*, (2): 32 – 33. [王惠长, 陈明贵, 彭洪忠, 1995. 稻虱红螫蜂寄生和捕食性研究. 耕作与栽培, (2): 32 – 33]

Xu ZF, He JH, Yang SL, 1999. Three new species of the genus *Gonatopus* from Guangxi (Hymenoptera: Dryinidae). *Acta Entomol. Sin.*, 42(1): 86 – 91. [许再福, 何俊华, 杨绍龙, 1999. 广西稻田螫蜂三新种记述(膜翅目: 螫蜂科). 昆虫学报, 42(1): 86 – 91]

Xu ZF, Olmi M, He JH, 2013. Dryinidae of the oriental region (Hymenoptera: Chrysidoidea). *Zootaxa*, 3614(1): 1 – 460.

Yamada YY, Ikawa K, 2003. Adaptive significance of facultative infanticide in the semi-solitary parasitoid *Echthrodelpfax fairchildii*. *Ecol. Entomol.*, 28(5): 613 – 621.

Yamada YY, Imai N, 2000. Identification of the sex of eggs and the mating status of female adults in *Echthrodelpfax fairchildii* (Hymenoptera: Dryinidae) based on oviposition behavior. *Entomol. Sci.*, 3(4): 579 – 583.

Yang SL, Huang JX, Jin MX, 1982. Studies on dryinid wasp (Hymenoptera: Dryinidae), the natural enemies of rice planthopper and rice leafhopper. *Nat. Enemies Insects*, 4(2): 1 – 12. [杨绍龙, 黄建新, 金孟肖, 1982. 稻飞虱、稻叶蝉天敌——螫蜂的研究. 昆虫天敌, 4(2): 1 – 12]

Zhang CZ, Jin LF, 1992. Preliminary study on bionomics of *Haplogonatopus japonicus*. *Nat. Enemies Insects*, 14(2): 57 – 61. [张纯胄, 金莉芬, 1992. 稻虱褐螫蜂生物学的初步研究. 昆虫天敌, 14(2): 57 – 61]

(责任编辑: 赵利辉)